

ОБРАЗОВАНИЕ И ОТЖИГ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В КРЕМНИЕВЫХ И КРЕМНИЙ-ГЕРМАНИЕВЫХ СТРУКТУРАХ, ОБЛУЧЕННЫХ АЛЬФА-ЧАСТИЦАМИ

Л.Ф. Макаренко¹⁾, И. Пинтилие²⁾, Ф.П. Коршунов³⁾,
С.Б. Ластовский³⁾, М. Молл⁴⁾, Н.В. Абросимов⁵⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости 4, 220030, Минск, Беларусь

²⁾National Institute of Materials Physics, Magurele-Bucuresti, Romania

³⁾ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», ул. П. Бровки, 19, 220072, Минск, Беларусь

⁴⁾ЦЕРН, Женева, Швейцария

⁵⁾Leibniz Institute for Crystal Growth, Berlin, Germany

Изучено влияние инжекции неосновных носителей заряда на образование радиационных дефектов в Si и SiGe, легированных бором. Показано, что инжекция подавляет образование электрически активных борсодержащих комплексов при облучении альфа-частицами.

Введение

Ввиду достаточно высокой доли ионизационных потерь при облучении тяжелыми заряженными частицами может создаваться достаточно высокая концентрация неосновных носителей заряда. В этом случае реализация неравновесных условий при протекании междоузельных реакций позволяет наблюдать не только эффекты, связанные с понижением или повышением энергий миграции и дефектной перестройки вследствие изменения зарядовых состояний взаимодействующих атомов, но и эффекты, связанные с изменением в ходе облучения сечений захвата первичных дефектов различными примесями, а также процессы радиационно-ускоренной диффузии.

Использование этих процессов также позволяет управлять скоростью деградации приборов на основе кремния и кремний-германиевых сплавов посредством дополнительного возбуждения электронной подсистемы кристалла.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Образцы для исследований, условия облучения и методика измерений описаны в нашей предыдущей работе [1].

Влияние неосновных носителей заряда на образование и отжиг примесно-дефектных комплексов

Влияние неравновесных условий в кристаллах р-типа проводимости, легированных бором, проявляется при сравнении результатов их облучения быстрыми электронами и тяжелыми заряженными частицами. На рисунке 1 представлены спектры релаксационной емкостной спектроскопии, полученные после неинжектирующих (РСГУ) и инжектирующих (ННГУ) импульсов заполнения. Пик Н1 связан с дивакансией, пики Н2 и Е1 принадлежат дефектам междоузельного типа – комплексу C_iO_i и комплексу B_iO_i , соответственно [2]. Как следует из рисунка 1, имеет место зависимость отношения амплитуд пиков междоузельных дефектов от вида бомбардирующих частиц.

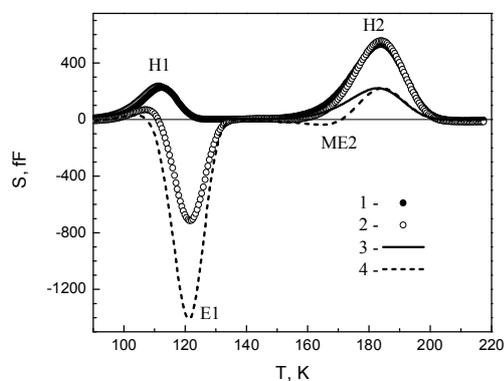


Рис. 1. Спектры РСГУ (1,3) и ННГУ (2,4) структур на основе кремния, облученные быстрыми электронами (кривые 1 и 2) и альфа-частицами (кривые 3 и 4). Измерения проводились с окном скоростей: $w_i=19.5 \text{ c}^{-1}$

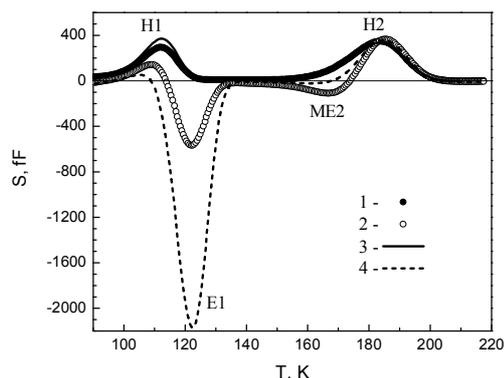


Рис. 2. Спектры РСГУ и ННГУ структур на основе кремния, облученные альфа-частицами. Кривые 1 и 2 получены для диодов, через которые после облучения был пропущен импульс прямого тока, и подвергнутые затем термическому отжигу при $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Кривые 3 и 4 получены для диодов, прошедших термический отжиг сразу после облучения

Кроме того нами было обнаружено, что пропускание прямого тока через структуры, облучен-

ные альфа-частицами приводит к уменьшению скорости образования комплекса V_iO_i . Этот эффект связан с изменением зарядового состояния междоузельных атомов кремния (Si_i) при инжекции электронов.

Основным механизмом потерь энергии быстрыми частицами в кристаллах являются ионизационные потери. Однако при сравнении ионизационных потерь с потерями на упругие столкновения оказывается, что альфа-частицы образуют меньше неравновесных носителей заряда по сравнению с быстрыми электронами. То есть, при электронном облучении доля Si_i в двукратно положительно заряженном состоянии будет меньше, чем при облучении ядерными частицами. Именно этим можно объяснить влияние интенсивности облучения на скорости образования междоузельных дефектов в кремнии.

Оказывается, что появление неосновных носителей заряда влияет не только на реакции междоузельных атомов кремния, но и поведение других дефектов междоузельного типа. В условиях термодинамического равновесия отжиг комплекса V_iO_i происходит в интервале температур 170-200 °C (рисунок 3).

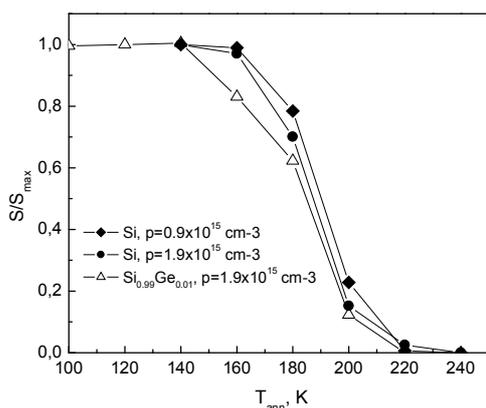


Рис. 3. Изохронный термический отжиг комплекса V_iO_i в кристаллах Si и SiGe с различным уровнем легирования бором. Шаг по температуре составлял 20 К. Длительность отжига при каждой температуре – 20 минут

Однако оказывается, отжиг можно существенно ускорить путем инжекции неосновных носителей заряда через p-n переход. Это показывают спектры на рисунке 4.

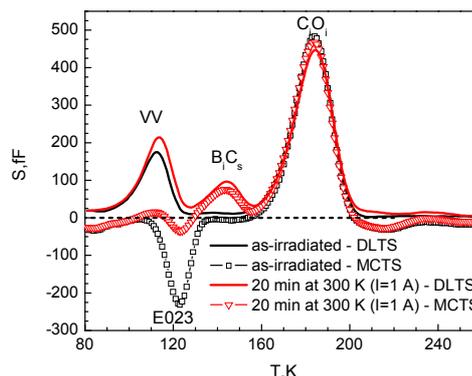


Рис. 4. Отжиг комплекса V_iO_i в n^+ -р структурах на основе кремния под действием инжекции неосновных носителей заряда через переход

Таким образом, путем пропускания прямого тока через p-n переход мы можем подавлять образование электрически активных борсодержащих дефектов в кремнии p-типа проводимости. Этот эффект можно использовать для повышения радиационного ресурса приборов, работающих в радиационных полях малой интенсивности.

Такие условия реализуются, например, в условиях космического пространства [3], где доля протонного облучения в суммарном потоке частиц велика.

Заключение

Показано, что инжекция неосновных носителей заряда через p-n переход приводит к изменению скоростей образования радиационных дефектов и ускорению их отжига в кремнии, легированном бором.

Список литературы

1. Пинтилие И. и др. // Материалы 10-й Международной конференции, Минск, 24-27 сентября 2013 г. – Мн.: Издательский центр БГУ, 2013. - с. 140-142.
2. P.M. Mooney, et al. // Phys. Rev. B. – 1977. – V. 15, no 8. – P. 3836-3843.
3. Чумаков А.И. Действие космической радиации на интегральные схемы. – М.: Радио и связь, 2004. – 320 с.

FORMATION AND ANNEALING OF RADIATION DEFECTS IN SI AND SIGE STRUCTURES, INDUCED BY ALPHA-IRRADIATION

L.F. Makarenko¹, I. Pintilie², S.B. Lastovski³, F.P. Korshunov³, M. Moll⁴, N.V. Abrosimov⁵

²Belarusian State University, Minsk, Belarus, makarenko@bsu.by

¹National Institute of Materials Physics, Magurele-Bucuresti, Romania

³Scientific-Practical Materials Research Centre of NAS of Belarus, Minsk, Belarus

⁴CERN, Geneva, Switzerland

⁵Leibniz Institute for Crystal Growth, Berlin, Germany

Effects of minority charge carrier injection on radiation defect formation and annealing in p-type Si and SiGe irradiated with alpha-particles have been studied. It has been shown that the injection suppress the formation of electrically active boron-containing complexes.